

## TelCUBE: Implementación de un Project-Based Learning multidisciplinar para el desarrollo de un picosatélite

Ramón Martínez Rodríguez-Osorio, Miguel Calvo Ramón, Salvador Landeros Ayala, Javier Jiménez Leube

ETSI de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid  
Avda Complutense, 30. 28040 Madrid - ESPAÑA  
[ramon@gr.ssr.upm.es](mailto:ramon@gr.ssr.upm.es)

### CONTEXTUALIZACIÓN

Un CubeSat es un satélite cuyas dimensiones no pueden superar las de un cubo de 10 cm de lado y tiene un peso a 1 kg. Esta plataforma fue propuesta en el año 1999 por los profesores Robert Twiggs (Stanford) y Jordi Puig-Suari (CalPoly) como una forma de facilitar el acceso al espacio a misiones desarrolladas por estudiantes universitarios. Como se ve en la Figura 1, existen variantes del cubesat de hasta 30 cm de alto.

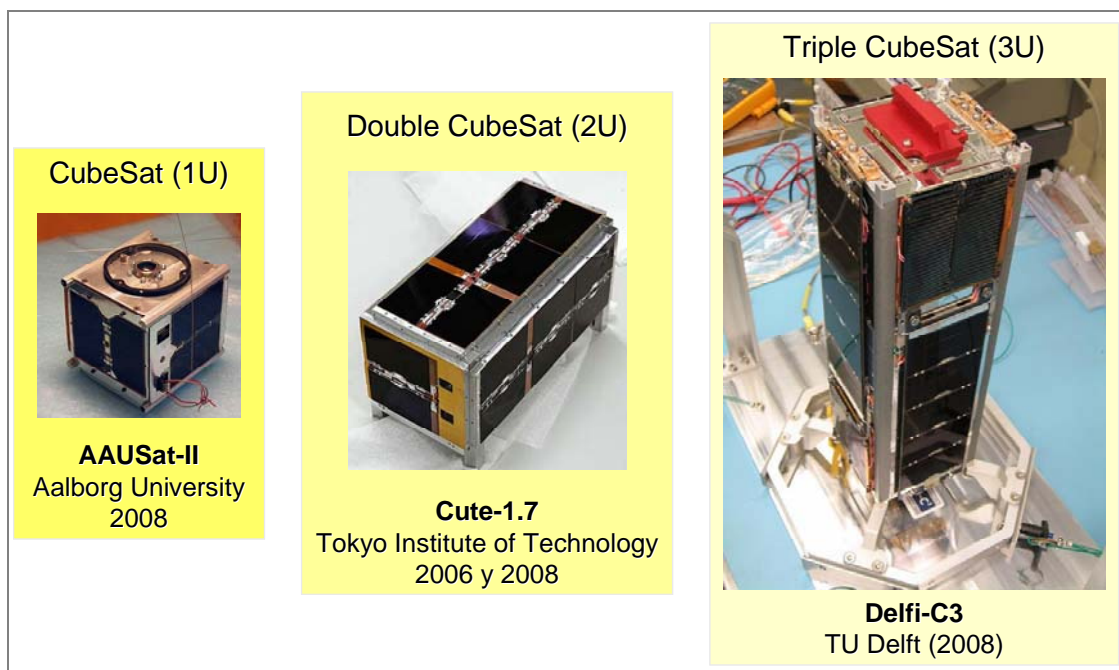


Figura 1. Ejemplos de misiones basadas en cubesats.

El desarrollo de CubeSats es una actividad formativa de gran éxito que se realiza en muchas universidades de todo el mundo. El principal objetivo de las misiones de CubeSats es que los estudiantes adquieran experiencia práctica (*hands-on*) y capacidades de diseño y trabajo en grupo, asemejando la actividad realizada a la de un proyecto en la industria espacial (puede verse, por ejemplo, el caso del proyecto Delfi-

C3 de la Technical University of Delft). Un aspecto común a todos los proyectos de desarrollo de Cubesats es la motivación y el gran número de estudiantes que se involucran. En el caso particular de Delfi-C3, cuyos dos primeros años en órbita se ha celebrado recientemente, se ha creado una *spin-off* de éxito formada por estudiantes que participaron en el proyecto.

Los cubesats nacieron como una plataforma meramente formativa. Algunas de las aplicaciones y cargas útiles a bordo más comunes son las cámaras y los sensores de radiación. Sin embargo, cada vez más encontramos aplicaciones profesionales de los cubesats en el ámbito de las plataformas de calificación de componentes espaciales de bajo coste. La industria espacial y las principales agencias del sector están cada vez más interesadas en estos proyectos<sup>12</sup>.



TelCUBE es una iniciativa de un grupo de profesores de la ETSI de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSIT-UPM) para poner en marcha un proyecto de desarrollo de cubesats y tecnología espacial. TelCUBE ha recibido el apoyo de la Dirección de la ETSIT-UPM para su puesta en marcha durante el curso 2010/11 y sucesivos.

A nivel formativo, cabe decir que la tecnología espacial es una materia multidisciplinar que engloba conocimientos de un gran número de áreas en la formación de un Ingeniero de Telecomunicación: Física, Matemáticas, Electrónica, Teoría de Señal, Comunicaciones, Ingeniería Software, Instrumentación, Microondas, Antenas, Propagación, Gestión, etc. Por ello, la incorporación de las actividades de desarrollo de un CubeSat en diversas asignaturas de la titulación en todos sus niveles es una tarea viable.

Por todo lo anterior, el desarrollo de un CubeSat puede implementarse como una actividad de innovación educativa multidisciplinar basada en la metodología Project Based Learning (PBL o aprender haciendo).

Un campo muy importante es el despliegue de constelaciones de picosatélites para la observación terrestre como QB50 y los servicios de monitorización de clima y comunicaciones (por ejemplo, HUMSAT).

El origen de este Proyecto de Innovación Educativa nace en concreto de la puesta en marcha de la iniciativa QB50. Se trata de una constelación de 50 picosatélites universitarios que tiene el objetivo de caracterizar espacialmente la termosfera (320 km) haciendo medidas in-situ y multipunto. Los picosatélites de la red serán desarrollados por universidades de todo el mundo, por lo que la participación en estas redes impulsa

<sup>1</sup> ESA-Education: Call for CubeSats on the Vega maiden flight, 2008.

Online: [http://esa-mm.esa.int/SPECIALS/Education/SEMSJ8QR4CF\\_0.html](http://esa-mm.esa.int/SPECIALS/Education/SEMSJ8QR4CF_0.html)

<sup>2</sup> NASA Opens High Frontier To Education And Not-For-Profit Groups. CubeSat Launch Initiative Announcement, 2010. Online: [http://www.nasa.gov/directorates/somd/home/CubeSats\\_initiative.html](http://www.nasa.gov/directorates/somd/home/CubeSats_initiative.html).

las actividades de docencia e investigación en tecnología espacial, y reforzaría la presencia internacional de las universidades en el ámbito espacial.

A fecha de hoy, la ETSIT-UPM ha enviado una Letter of Intent que ha sido aceptada por la dirección de QB50. Como parte de la actividad formativa, una de las primeras tareas será preparar una propuesta para formar parte de la constelación QB50.

La iniciativa QB50 está apoyada por la Agencia Espacial Europea.

## OBJETIVOS

Los objetivos de esta actividad son:

- Mejorar los procesos de aprendizaje de los estudiantes de primeros cursos, haciéndoles partícipes de un proyecto ilusionante, de carácter multidisciplinar en el que se aplican los conocimientos básicos que están adquiriendo: Física (leyes de Kepler y órbitas), programación (desarrollo de páginas y aplicaciones web para mantener y actualizar la información del proyecto), etc.
- Implantar metodologías activas de aprendizaje entre los estudiantes de todos los cursos
- Formar y evaluar competencias transversales: cursos sobre metodologías de gestión de proyectos, documentación de reuniones de trabajo y presentación de informes, talleres y seminarios de presentación de resultados, etc.
- Crear la infraestructura necesaria para la puesta en marcha de actividades de aprendizaje basadas en proyectos (Project-Based Learning) como la que aquí se propone.

Como aspectos formativos concretos la actividad pretende que los estudiantes desarrollen capacidades para aprender: a estudiar, a resumir información, a organizar documentación, a elaborar presentaciones, a realizar presentaciones en público, etc. Para ello, los estudiantes aprenderán a desarrollar, gestionar y mantener herramientas de trabajo colaborativas.

El número de estudiantes involucrados para la puesta en marcha de esta actividad durante esta primera edición será de aproximadamente 35.

Actualmente, existe un grupo formado por estudiantes de todos los cursos y alumnos ya egresados que se ha interesado por participar.

## METODOLOGÍA

El proyecto de innovación se estructura en torno a un grupo de estudiantes organizados por grupos de trabajo que están supervisados por un profesor. Típicamente, cada grupo de trabajo se corresponde con uno de los subsistemas del cubesat, además de los equipos encargados de la estación de tierra, análisis de misión, ingeniería de sistemas, y ensayos. La organización propuesta se muestra en la Figura 2.

Dentro de las actividades de trabajo en grupo, los diversos equipos de trabajo estarán formados por estudiantes de diferentes cursos, de manera que los lideren estudiantes mentores de últimos cursos que organizarán y supervisarán el trabajo de los estudiantes de los primeros cursos y así, la interacción entre los propios estudiantes, mejorará el proceso de aprendizaje de las materias técnicas y el desarrollo de competencias transversales.

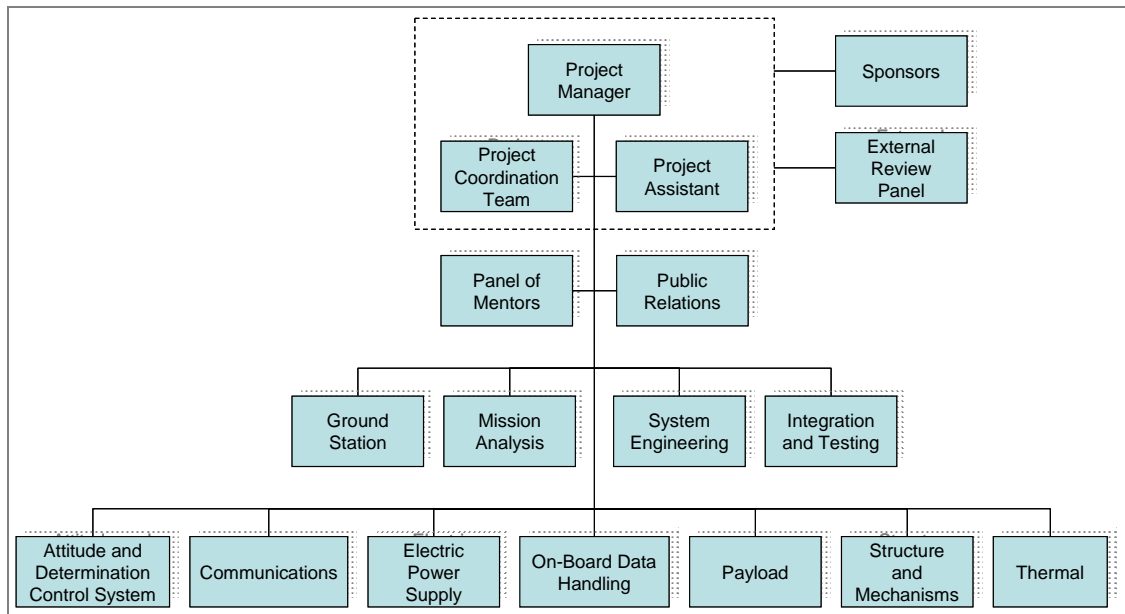


Figura 2. Organización del Proyecto.

De la organización, se derivan dos importantes consecuencias. La primera es que los grupos no trabajan de forma aislada puesto que las decisiones tomadas en uno de los subsistemas afectará a los demás. De ahí que el trabajo en grupo y la documentación sean esenciales para el éxito del proyecto. De esta forma, los estudiantes aprender a argumentar sus posiciones, afrontar compromisos y tomar decisiones.

La segunda es que el proyecto tiene una naturaleza multidisciplinar donde tiene cabida estudiantes de cualquier rama de la ingeniería y de otras ciencias como el marketing, la comunicación o el diseño gráfico. Trabajar en un entorno multidisciplinar ayuda a que los estudiantes vean el proyecto desde diferentes puntos de vistas, no sólo de la parte técnica en la que trabajan.

En otras iniciativas similares, el desarrollo del cubesat se basa en estudiantes realizando su PFC o Tesis Doctoral de forma independiente. Bajo nuestra perspectiva, es mucho más interesante que el proyecto se imbrique dentro de las asignaturas en forma de prácticas y problemas. De esta forma, los estudiantes comprenden la utilidad de los conceptos teóricos aprendidos, los aplican a un caso real y se sienten más motivados en sus estudios.

A la hora de formar los grupos de trabajo, es interesante que estén formados por estudiantes de diferentes cursos. En este sentido, los estudiantes de cursos superiores harán labores de mentoría con los alumnos de primeros cursos, de cara a aprovechar sinergias y aumentar su motivación.

Para ilustrar el carácter multidisciplinar del desarrollo del cubesat, en la Figura 3 se muestra el diagrama de bloques del satélite. Es espacialmente importante la traducción de los bloques en grupos de trabajo (no todos aparecen reflejados en la figura: estructura y control térmico) y el significado de las flechas en términos de interacción y discusión entre los grupos.

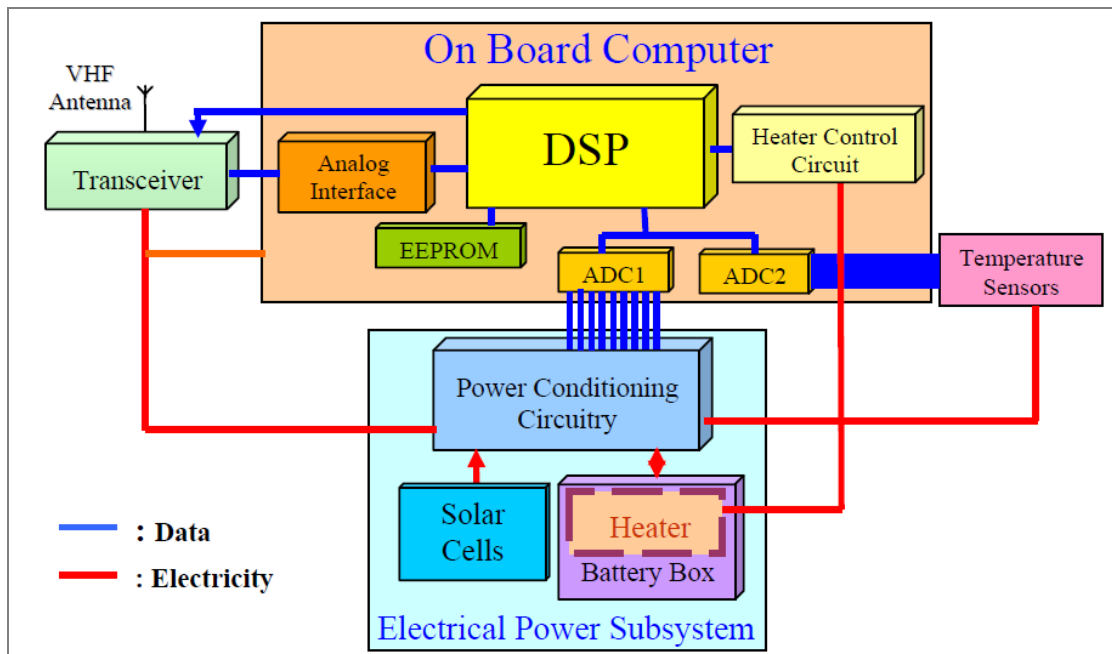


Figura 3. Diagrama de bloques de un cubesat.

Dentro del PBL, un aspecto muy importante es el desarrollo de competencias transversales (tan útiles y demandadas en el ejercicio profesional): trabajo en grupo, lectura y comprensión de documentación técnica (en su mayoría, en lengua inglesa) desde los primeros cursos, presentaciones en público, participación en foros internacionales, etc.

En el marco europeo hay diferentes actividades en las que podría participar este Proyecto de Innovación Educativa y así fomentar su dimensión internacional: 1) la red GENSO<sup>3</sup>: es una propuesta para formar una red global de estaciones de seguimiento de satélites educativos (CubeSats) instaladas en centros repartidos por todo el mundo; 2) el Proyecto QB50<sup>4</sup> que es una iniciativa del Von Karman Institute (Bruselas) apoyada por la ESA (European Space Agency) para poner en marcha una constelación de 50 CubeSats desarrollados por otras tantas entidades (36 europeas, 10 estadounidenses, 2 canadienses y 2 japonesas); 3) la participación en la CubeSat Community<sup>5</sup>: foro internacional de desarrolladores de CubeSats.

Esta dimensión internacional favorece que los estudiantes puedan realizar parte de su colaboración en otras Universidades, atraer estudiantes de otros centros europeos, y contar con la presencia de expertos internacionales en la puesta en marcha de proyectos

<sup>3</sup> <http://www.genso.org>

<sup>4</sup> <http://www.vki.ac.be/QB50/index.php>

<sup>5</sup> <http://www.cubesat.org>

de desarrollo de CubeSats. Asimismo, se potenciará la asistencia de los estudiantes a foros internacionales para difundir los resultados del proyecto.

Como interés para la ETSIT-UPM, decir que el desarrollo de un CubeSat constituye una actividad diferencial respecto de otras Universidades y Escuelas, que puede resultar atractiva para la motivación de los estudiantes.

Finalmente, destacar que las metodologías de aprendizaje puestas en marcha en este proyecto (aprendizaje basado en proyectos, formación en competencias transversales, hands-on experience, etc.) están en línea con las metodologías propuestas en el marco del proceso de Bolonia y su implantación en los nuevos títulos de grado.

### PLANIFICACIÓN. FASES

El desarrollo de un cubesat como actividad formativa de estudiantes constituye un proyecto a largo plazo. En promedio, un proyecto completo desde la concepción hasta el lanzamiento tiene una duración media de 3 años, a los que se añade una actividad transversal que es la operación del satélite hasta el fin de su vida útil. Por otro lado, decir que una vez puesta en marcha la iniciativa de desarrollo de cubesats, el objetivo es continuar con misiones más complejas que aporten mayor valor a la formación de los estudiantes implicados.

En este sentido de proyecto a largo plazo, es importante destacar que hay estudiantes que abandonan el proyecto al finalizar sus estudios, sin que éste haya finalizado. Para garantizar que el know-how se mantiene, es especialmente importante la elaboración de una documentación detallada. En caso contrario, la duración del proyecto se dilataría y muchas actividades se harían de forma poco eficiente.

Volviendo a las fases del proyecto, se pueden estructurar de forma similar a una cadena de valor, como se muestra en la Figura 4. En primer lugar, es importante la publicidad del proyecto y fomentar el interés de los estudiantes. De nuestra experiencia, se deriva que la celebración de una sesión pública informativa en la que se invite no sólo a estudiantes sino también al profesorado es fundamental. En las sucesivas convocatorias, hemos comprobado cómo ha ido aumentando el interés por parte de la comunidad universitaria.

Los primeros meses se centran en pensar en un concepto de misión y preparar una propuesta. En esta fase participan estudiantes ofreciendo diferentes alternativas e ideas. Es muy importante en esta primer fase realizar un análisis de misión detallado, que permitirá definir unas especificaciones concretas de cada subsistema y componente, y analizar los riesgos y viabilidad de la misión propuesta.

Una vez seleccionada la propuesta, el siguiente paso es elaborar un diseño preliminar y un diseño detallado. En esta fase, se realizan revisiones del trabajo de los diferentes grupos de estudiantes. Después, la parte de integración de subsistemas y ensayos para comprobar que los interfaces definidos en una fase anterior son los correctos. Se verifica además que el picosatélite construido puede operar adecuadamente en el entorno espacial. La última actividad dentro de esta segunda fase es el lanzamiento.



Después del lanzamiento, comienza la etapa de operación del satélite. Ésta tendrá una duración que dependerá de la vida útil del satélite, precisión del lanzamiento, y operación de los subsistemas. Finalmente, la tecnología y know-how desarrollado por los estudiantes dentro del proyecto se puede convertir en un semillero de spin-offs para aplicaciones espaciales, desarrollo de tecnología, consultoría a empresas del sector e incluso transferencia de la tecnología desarrollada a otros sectores y escenarios.

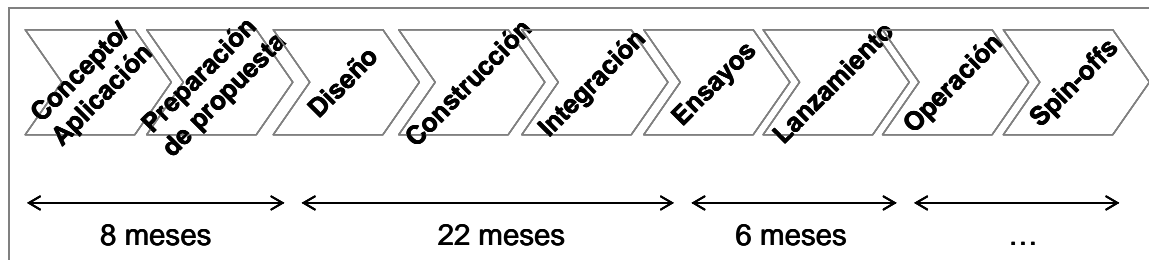


Figura 4. Fases de proyecto de desarrollo de un cubesat.

Todas las fases irán acompañadas de la documentación correspondiente, que será aprobada por el *Steering Board* del proyecto. Además, habrá algunos hitos generales intermedios que marcarán el progreso de las actividades:

Asistencia de los estudiantes a congresos internacionales para dar difusión a la iniciativa  
Revisiones del trabajo: serán sesiones que contarán con la presencia de profesores y expertos del sector que evaluarán los avances realizados y aconsejarán a los grupos de trabajo en distintos ámbitos.

Celebración de workshops: con el objetivo de involucrar y motivar a más estudiantes, se celebrarán anualmente sesiones públicas para mostrar los avances e hitos completados.

Como ya se ha comentado, el proyecto no termina aquí, sino que se pretende establecer esta línea de trabajo en la ETSIT-UPM, yendo hacia satélites más complejos en términos de tamaño, experimentos y aplicaciones.

## ESTADO ACTUAL

Como se ha comentado, la iniciativa se pondrá en marcha formalmente durante el curso 2010/11. Las actividades realizadas hasta la fecha han sido las siguientes:

- Realización de presentaciones a nivel Escuela para el evaluar interés de los estudiantes y profesores (Figura 5)
- Contacto con profesores de distintos cursos, que han mostrado su interés en apoyar la iniciativa introduciendo algunos tópicos en el temario de sus asignaturas
- Asistencia de estudiantes a seminarios de Astrodinámica en el marco del 4th International Conference on Astrodynamics Tools and Techniques (Abril-Mayo de 2010)
- Instalación de aplicaciones software (Matlab, Satellite ToolKit) en un laboratorio
- Búsqueda de financiación



Figura 5. Reunión con los estudiantes de TelCUBE (Mayo de 2010).

## RESULTADOS

El éxito del proyecto se medirá de acuerdo con el grado de consecución de los objetivos planteados. Dado que se trata de un proyecto a largo plazo, es importante ir adaptando los objetivos del proyecto a medida que se gana en experiencia. Sería un error pretender que el objetivo principal del proceso de puesta en marcha se centrara únicamente en la calidad técnica del cubesat diseñado. Por ello, conviene separar el éxito en términos formativos y el éxito de la misión como proyecto de ingeniería.

A nivel formativo, la evaluación del éxito del Proyecto de Innovación Educativa se realizará en base a los siguientes puntos:

- Formación y consolidación de un grupo de estudiantes motivados involucrados en el desarrollo de un picosatélite como parte de su proceso formativo y de aprendizaje
- Mejora de los procesos de aprendizaje de los estudiantes participantes
- Grado de adquisición de competencias transversales (evolución del trabajo en grupo, documentación elaborada, presentaciones realizadas, etc.)
- Participación del grupo dentro de una iniciativa internacional como QB50
- Difusión de los resultados obtenidos en foros de innovación educativa y conferencias sobre cubesats

En cuanto a la difusión de resultados, existen varios foros internacionales que se celebran anualmente donde se fomenta la participación de estudiantes. Algunos de estos foros son:



- Internacional Astronautical Congress (IAC), organizado por la IAF (Internacional Astronautical Federation), con varias sesiones sobre la tecnología de pequeños satélites, cubesats y proyectos educativos
- Cubesat Symposium, organizado por el Von Karman Institute, coordinador de la iniciativa QB50.
- Cubesat Developer Workshop, organizado por CalPOLY, que ha celebrado en 2010 su 7ª edición.

A nivel científico y de ingeniería, se consideran criterios de éxitos del proyecto los siguientes:

- Integración y prueba con éxito de los subsistemas
- Entrega del modelo de vuelo y superación de los tests
- Se establece un enlace de comunicaciones con el satélite (recepción de la primera telemetría)
- El satélite se mantiene operativo durante 3 meses, con todos los subsistemas funcionando correctamente
- La carga útil a bordo cumple su misión

Si se consiguen cumplir todos los anteriores, se considera que el proyecto de innovación educativa es un éxito.

Dado que se trata de un proyecto a largo plazo, se considera un éxito la puesta en marcha del primer proyecto de desarrollo de un cubesat. En sucesivos proyectos, se pondrá mayor énfasis en los aspectos de cumplimiento de los objetivos de ciencia e ingeniería de la misión.

## CONCLUSIONES

Este proyecto de innovación educativa se basa en el desarrollo de un picosatélite (cubesat) por parte de estudiantes bajo la supervisión del profesorado. Se trata de una actividad de tipo práctico (hands-on) en línea con las metodologías de aprendizaje del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES).

Los pilares del proyecto son su carácter multidisciplinar al incluir diferentes ramas de conocimiento, el trabajo en grupo entre estudiantes de diferentes cursos y especialidades, la gestión del proyecto y la elaboración de documentación. Incluye por tanto el desarrollo de competencias verticales de índole técnica y capacidades transversales.

El proyecto es una iniciativa a largo plazo que pretende convertirse en una línea de innovación permanente en la ETSIT-UPM. El primer paso es la puesta en marcha de la iniciativa, con el diseño del primer cubesat, al que seguirán proyectos de innovación de mayor envergadura.

Destacar también la importancia del apoyo institucional para la puesta en marcha de la iniciativa, tanto a nivel de Escuela y Universidad, como de la industria. Una de las principales dificultades a la que nos enfrentamos es la financiación para la compra de

los equipos y herramientas necesarias para abordar con éxito el proyecto. Asimismo, este proyecto contribuirá a reforzar la colaboración entre el profesorado de los distintos Departamentos e incluso Escuelas.

Por último, para destacar el aprovechamiento y utilidad formativa para los estudiantes, se muestra en la Figura 6 un gráfica donde estudiantes que han participado en iniciativas similares declaran su utilidad para la incorporación a la industria. Como puede apreciarse, en la inmensa mayoría de casos, los estudiantes valoran de forma muy positiva el haber participado en el desarrollo de un cubesat,

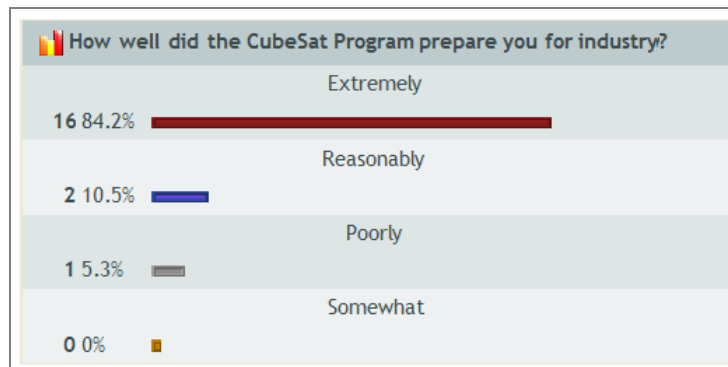


Figura 6. Opinión de los estudiantes acerca de la utilidad del Programa de Cubesats epara su incorporación a la industria (Fuente: <http://cubesatalumni.com>).

## RECONOCIMIENTO

Este proyecto para el desarrollo de un picosatélite ha recibido el reconocimiento en los siguientes programas:

- actuaupm: premio a TelCUBE como una de las 8 mejores ideas de negocio para empresas de base tecnológica de entre más de 250 propuestas
- Actividad de Incentivo del Interés de los Estudiantes: reconocimiento de la actividad TelCUBE por la Dirección de la ETSIT-UPM como un proyecto de innovación (abril de 2010)
- Proyecto de innovación Educativa de la Universidad Politécnica de Madrid para el curso 2010/11.